УДК 551.324

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ ПУТЕМ ВЫМЫВАНИЯ И СУХОГО ОСАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

[1]Керимов А.М., [2]Татаренко Н.В., [2]Татаренко З.М., [1]Курашева О.А.

[1]Высокогорный геофизический институт, Нальчик, e-mail: kerimov.a.m@mail.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

Атмосферные осадки являются важным фактором самоочищения атмосферы от микропримесей как естественного, так и антропогенного происхождения. Находящиеся в атмосфере микрочастицы эффективно удаляются из нее как с атмосферными осадками, так и в виде сухого осаждения. Снежный покров представляет собой естественный планшет-накопитель загрязняющих веществ, выпадающих из атмосферы в сухом виде и с осадками. Изучение химического состава микропримесей в твердых осадках в зоне аккумуляции ледников открывает существенные возможности в изучении фонового мониторинга загрязнения атмосферы. Высокогорные ледники – уникальные природные объекты, являющиеся надежными индикаторами атмосферных осадков. Поступающие в снежный покров микрочастицы характеризуют первичное загрязнение атмосферы. Снежный покров со временем в процессе метаморфизма переходит в фирн, а затем в лед. Химические примеси, попавшие на ледник с твердыми атмосферными осадками и в виде сухого осаждения, становятся своеобразной летописью. Микроструктурный анализ и химический состав микрочастиц снежно-ледяной толщи высокогорных ледников позволяет определить состав аэрозолей, скорость их поступления, генезис, а также проводить точную датировку слоев по историческому интервалу времени. Определены значения геометрического диаметра и стандартного геометрического отклонения функции распределения водонерастворимых частиц по размеру в пробах одного холодного сезона. Анализ проб свежевыпавшего снега позволил определить функцию распределения по размеру водонерастворимых аэрозольных частиц, вымытых снежинками. Эта функция с хорошей точностью аппроксимируется логарифмически нормальным распределением. 95% частиц аэрозоля приходятся на интервал областей субмикронных размеров аэрозоля и больших размеров. Получены результаты теоретических расчетов и экспериментально определенны концентрации аэрозольных частиц, вымытых снегом. Определены концентрации тяжелых металлов в пробах свежевыпавшего снега в сезонной толще. Установлена связь концентрации тяжелых металлов, вымытых снегом, с концентрацией водонерастворимых аэрозольных частиц по интервалам их размеров.

Ключевые слова: аэрозоль, тяжелые металлы, вымывание аэрозольных элементов осадками, сухое осаждение примесей на поверхность ледника, водонерастворимые аэрозольные частицы

FEATURES RECEIPT OF AEROSOL PARTICLES IN SNOW COVER THROUGH LEACHING AND DRY DEPOSITION IN HIGH ALTITUDE CONDITIONS

[1]Kerimov A.M., [2]Tatarenko N.V., [2]Tatarenko Z.M., [1]Kurasheva O.A.

[1]High-Mountain geophysical Institute, Nalchik, e-mail: kerimov.a.m@mail.ru;
[2]The Kabardino-Balkarian university of H.M. Berbekov» Nalchik, e-mail: tatarenko.nic@yandex.ru

Precipitation is an important factor in the self-purification of the atmosphere from both natural and anthropogenic micro-impurities. Microparticles in the atmosphere are effectively removed from it with both precipitation and dry deposition. Snow cover is a natural tablet – storage of pollutants falling out of the atmosphere in a dry form and with precipitation. The study of the chemical composition of micro-impurities in solid precipitation in the accumulation zone of glaciers opens up significant opportunities in the study of background monitoring of air pollution. Alpine glaciers are unique natural objects, which are reliable indicators of atmospheric precipitation. Incoming microparticles in the snow characterize the primary pollution of the atmosphere. Snow cover over time in the process of metamorphism passes into firn, and then into the ice. Chemical impurities that have fallen on the glacier with solid precipitation and dry deposition, become a kind of chronicle. The microstructure analysis and chemical composition of micro-particles of snow and ice of high mountain glaciers thickness allows to determine the composition of aerosols, the arrival rate, the Genesis and conduct precise Dating of the layers of historical time interval. The values of the geometric diameter and geometric standard deviation of the distribution function of the water-insoluble particle size in the samples of one of the cold season. Analysis of samples of fresh snow allowed to determine the function of distribution of water-soluble aerosol particles washed with snowflakes. This function is approximated with good accuracy by a logarithmically normal distribution. 95% of the aerosol particles have on the interval areas of submicron size aerosol and large sizes. The results of theoretical calculations are obtained and concentrations of aerosol particles washed with snow are determined experimentally. Concentrations of heavy metals in samples of fresh snow in the seasonal thickness were determined. The relationship between the concentration of heavy metals washed with snow and the concentration of water-soluble aerosol particles at intervals of their sizes is established.

Keywords: aerosol, heavy metals, washout of aerosol elements in precipitation, dry deposition of impurities on the glacier surface, the water-insoluble aerosol particles

Основными источниками химических примесей для ледников являются атмосферные аэрозоли. Поступление аэрозольных частиц в снежный покров зависит от различных механизмов их удаления из атмосферы. Находящиеся в атмосфере частицы эффективно удаляются из нее либо с атмосферными осадками, либо путем их сухого

осаждения. Соотношение между сухими и влажными выпадениями примесей из атмосферы определяется взаимодействием различных факторов: длительность холодного периода, в течение которого сохраняется снежный покров, частота снегопадов и их интенсивность, физико-механические свойства загрязняющих веществ, размер аэрозолей.

Осадки являются важным фактором самоочищения атмосферы от примесей естественного и искусственного происхождения. Процессы вымывания примесей из атмосферы осадками включают в себя два типа: «вымывание в облаке» и «вымывание осадками». Оба механизма вместе представляют собой «влажное осаждение» На долю мокрого выпадения аэрозолей приходится около 60% от общего осаждения аэрозольных частиц [1].

Вымывание загрязняющих веществ осадками зависит от формирования осадков в облаке и последующей трансформации при выпадении на земную поверхность. Захват загрязняющих веществ может осуществляться каплями воды и ледяными кристаллами. Процессы «вымывания в облаке» состоят из поглощения микрочастиц в виде ядер конденсации, присоединении неактивных аэрозольных частиц к облачным каплям и реакции газов в облачных элементах. А процессы «вымывания осадками» включают в себя прикрепление аэрозольных частиц к выпадающим осадкам, испарение осадков, растворение и реакция газов в осадках [2].

Основная часть химических примесей в осадках формируется ниже облаков и в приземном слое тропосферы. Эффективность удаления аэрозолей осадками сильно зависит от размера частиц. Мелкие частицы диффундируют быстрее, чем более крупные, и очень быстро присоединяются к облачным элементам, которые в дальнейшем вовлекаются в осадки. С другой стороны, более крупные частицы вымываются осадками значительно быстрее, чем мелкие [3].

Укрупнение капель и ледяных кристаллов приводит к выпадению осадков. За время движения вниз капли или снежинки захватывают аэрозоль, что повышает минерализацию осадков. Капли дождя или кристаллы снега при своем падении захватывают («вымывают») из нижнего слоя атмосферы значительное количество аэрозолей, причем считается [2], что очищение атмосферы от микрочастиц пыли диаметром 0,5–2 мкм кристаллами снега и льда происходит в 4 раза активнее, чем дождевыми каплями.

Поступление аэрозольных частиц в снежный покров за счет сухого осаждения в дни без осадков осуществляется при помощи одновременно взаимодействующих процессов: седиментации, диффузного и инерционного осаждения.

Механизм удаления аэрозольных частиц из атмосферы определяется размером самого аэрозоля. Верхний предел размеров аэрозольных частиц определяется седиментацией. Наиболее крупнодисперсные частицы диаметром более 10 мкм быстро выводятся из атмосферы за счет седиментации. Установлено, что, когда радиус частиц меньше 1 или 2 мкм, процессом седиментации можно пренебречь [1, 4].

Нижний предел размера аэрозольных частиц определяется коагуляцией, вызывающей быстрое присоединение частиц размером 0,005 мкм к более крупным частицам. Очень мелкие частицы довольно быстро удаляются за счет диффузного присоединения или внутриоблачного вымывания. При этом диффузный эффект начинает преобладать в размерном диапазоне частиц с диаметром менее 0,2 мкм [4]. Частицы диаметром 0,1–1 мкм медленно оседают и в меньшей степени подвержены инерционному и диффузному удалению. Эти частицы остаются в атмосфере в течение сравнительно более длительного времени, чем самые крупнодисперсные частицы [3]. В настоящее время огромный интерес к изучению концентрации микрочастиц и химического состава снежно-фирновой толщи Эльбруса проявляют ряд исследователей. Авторами в работах [5, 6] изучена динамика химического состава снежно-фирновой толщи Эльбруса за последние 75 лет. Изучен изотопный состав [7], температурный и радиационный режим [8], толщина и подледный рельеф [9–10] ледников Эльбруса. В работе [11] авторы проводят сравнительный анализ кернов ледников Эльбруса и Казбека.

Цель исследования

В настоящей статье предпринята попытка оценить особенности поступления аэрозольных частиц в снежный покров путем их вымывания и сухого осаждения в условиях высокогорья на примере оледенения южного склона Эльбруса.

Материалы и методы исследования

Оценить вклад атмосферного аэрозоля в снежном покрове за счет сухого осажде-

ния можно следующим образом. Для этого необходимо отбор проб проводить в период без осадков между двумя снегопадами. Причем считается, что чем больше этот промежуток, тем больше происходит накопление аэрозолей за счет сухого осаждения. Отбор проб проводится в неглубоком шурфе из средней его части, отложенного за период последнего снегопада и с поверхности снега (в слое 1–2 см), а также в начале следующего снегопада. Измерив концентрацию примесей, выпавших на его поверхность между двумя снегопадами, и сравнив его с содержанием примесей в средней его части, можно оценить величину сухого выпадения. Проведенные ранее нами исследования, в работах [12–14] показывают, что концентрации микрочастиц на поверхности оказываются в 3–4 раза, более чем в середине слоя.

Содержащие ТМ аэрозольные частицы, имеют размеры от 10^{-3} до 40–60 мкм. Считается, что в аэрозолях доля водорастворимых форм свинца составляет 11–32 %, кадмия 43–82 %, цинка 15–65 %, никеля и мышьяка соответственно 39–50 %, 28–58 %. Частицы растворимых форм аэрозоля, содержащих ТМ, имеют радиус меньше 0,028 мкм.

В настоящей работе проведены расчеты вымывания ТМ на основе экспериментальных данных полученных на южном склоне Эльбруса. Отбор проб производился в снежном покрове (свежевыпавшем и сезонном) по высотному профилю от 3500 м н.у.м. до восточной вершины Эльбруса (высота – 5621 м). Отбор проб свежевыпавшего снега проводился в день снегопада. Пробы в шурфах отбирались из слоев с одинаковыми структурно-стратиграфическими характеристиками. Отсчет слоев в шурфах ведется от световой поверхности.

Результаты исследования и их обсуждение

Обработка и анализ проб свежевыпавшего снега позволили определить функцию распределения по размеру водонерастворимых аэрозольных частиц, вымытых снежинками. Эта функция с хорошей точностью аппроксимируется логарифмически нормальным распределением. В табл. 1 приведены значения геометрического диаметра d_o и стандартного геометрического отклонения σ_0 функции распределения частиц по размеру в пробах одного холодного сезона.

В пятом столбце таблицы приведены значения интервала диаметров частиц аэрозоля в 1 $см^3$ пробы, в котором находятся 95 % частиц. Как видно, интервал, в котором лежат 95 % частиц в основном начинается в области субмикронных размеров аэрозоля и заканчивается в области больших размеров.

В табл. 2 приведены результаты теоретических расчетов и экспериментально определенных концентраций аэрозольных частиц, вымытых снегом в указанном диапазоне размеров.

В табл. 3 приведены значения концентрации ТМ, вымытых свежевыпавшим снегом, в сезонной толще. Прочерки в таблице означают, что концентрация элемента в пробе была ниже порога обнаружения. Обнаружено, что тяжелых металлов в летний период вымывалось больше, чем в зимний.

Таблица 1

Параметры функции распределения водонерастворимых частиц по размеру

Пункт отбора пробы	Номер слоя	d_o, мкм	σ_0	Интервал, мкм
4090	1	0,293	2,645	0,055–1,550
4000	1	0,258	3,045	0,042–1,571
4000	2	0,370	1,857	0,100–1,374
4000	3	0,252	2,864	0,044–1,144
4000	1	0,449	2,668	0,084–2,396
4000	2	0,228	2,650	0,042–1,208
4000	3	0,137	3,598	0,019–0,986
3830	1	0,403	3,023	0,052–2,436
4090	1	0,916	3,889	0,118–7,142
4090	2	0,315	2,941	0,054–1,834
H = 5621 м н.у.м.	1	0,158	2,847	0,128–0,900

Таблица 2

Экспериментальные $n_к$, и вычисленные значения $n_в$, концентрации водонерастворимых аэрозольных частиц

Интервал диаметров, мкм	Проба № 2 Н = 4090 м н.у.м.		Проба № 3 Н = 3500 м н.у.м.	
	do = 0,315 мкм, σ_0= 2,941		do = 0,299 мкм, σ_0 = 2,334	
	$n_к$, см$^{-3}$	$n_в$, см$^{-3}$	$n_к$, см$^{-3}$	$n_в$ см$^{-3}$
0,01–0,08	$1,3\cdot10^5$	$1,21\cdot10^5$	$2,1\cdot10^6$	$1,27\cdot10^6$
0,08–0,20	$5,8\cdot10^5$	$5,8\cdot10^5$	$2,8\cdot10^6$	$5,49\cdot10^6$
0,20–0,40	$5,8\cdot10^5$	$7,62\cdot10^5$	$8,4\cdot10^6$	$6,74\cdot10^6$
0,40–0,60	$5,8\cdot10^5$	$5,00\cdot10^5$	$4,9\cdot10^6$	$3,41\cdot10^6$
0,60–0,80	$4,5\cdot10^5$	$3,24\cdot10^5$	$2,8\cdot10^6$	$2,73\cdot10^6$
0,80–2,0	$6,4\cdot10^5$	$6,57\cdot10^5$	$1,2\cdot10^6$	$2,34\cdot10^6$
2,0–4,0	$9,6\cdot10^4$	$1,56\cdot10^5$	$1,3\cdot10^5$	$2,40\cdot10^6$
4,0–8,0	$6,0\cdot10^3$	$3,44\cdot10^5$	$2,8\cdot10^4$	$2,22\cdot10^6$
8,0–20,0	$4,9\cdot10^3$	$4,93\cdot10^3$	$4,0\cdot10^3$	$1\cdot10\cdot10^3$

Таблица 3

Концентрация тяжелых металлов в пробах свежевыпавшего снега

Пункт отбора пробы	Номер слоя	Концентрация элементов, мкг л $^{-1}$				
		Ag	Cr	Ni	Mn	Pb
3500	1	0,021	1,70	1,30	1,41	1,49
4090	1	–	–	0,73	0,81	0,92
4000	1	–	3,10	1,51	2,01	–
4000	2	0,012	1,34	1,25	3,69	5,67
4000	3	0,035	1,38	0,73	0,94	0,92
4000	4	0,015	0,96	0,73	3,43	1,62
3830	1	0,046	6,41	1,63	4,75	2,52

Таблица 4

Экспериментальные и вычисленные значения концентрации ТМ, мкг·л $^{-1}$

Высота отбора пробы, н.у.м.	Cr		Ni		Mn	
	Сэ	Св	Сэ	Св	Сэ	Св
Н = 3500 м	7,31	7,308	2,24	2,240	10,73	10,731
Н = 3700 м	44,34	44,340	12,75	12,750	84,15	84,150
Н = 4000 м	14,99	14,991	7,58	7,939	35,11	33,852
Н = 4020 м	16,45	18,469	5,46	5,462	32,60	33,852
Н = 4300 м	20,49	18,469	8,30	7,939	20,86	20,867

Различные фракции аэрозоля тесно связаны с их химическим составом. Средне- и грубодисперсный аэрозоль в основном состоит из вещества, характерного для частичек почвы. Они представляют такие элементы, как алюминий, кремний, магний, марганец, никель, титан, железо. С учетом этого была исследована связь концентрации водонерастворимого аэрозоля, вымытого из облаков и подоблачного слоя, с концентрацией ТМ. Корреляция между ТМ и концентрацией водонерастворимых аэрозолей по спектру их размеров является нелинейной. В табл. 4 приведены значения концентрации ТМ в пробах свежевыпавшего снега, определенные экспериментально Сэ. и вычисленные Св.

Как видно из табл. 4, для указанных элементов их концентрация почти функционально связана с концентрацией водонерастворимых аэрозольных частиц. Коэффициенты детерминации для этих элементов, включая цинк и свинец, выше 0,98.

В пробах свежевыпавшего снега для обнаруженных серебра, хрома, никеля и марганца коэффициенты детерминации превосходили значение 0,97. Полученные результаты, по оценке степени связи концентраций ТМ и водонерастворимых частиц, указывают на то, что вымываемые

микропримеси ТМ довольно тесно связаны как с мелкодисперсной фракцией, так и с крупно- и грубодисперсными фракциями водонерастворимых частиц. Гидрометеоры облаков и осадков интенсивно поглощают аэрозольные частицы и благодаря этому формируют свой химический состав.

Основной захват аэрозольных частиц и преобразование их размера происходит в облаке. Связано это с тем, что частицы находятся в облаке больше времени, чем в осадках. В течение этого времени они могут использовать все механизмы укрупнения и таким образом преобразоваться в частицы осадков. С увеличением размера частицы интенсивно коагулируют с микропримесями. Время пребывания частиц в осадках ограничено из-за малого расстояния между облаком и подстилающей поверхностью и относительно большей скоростью их падения по сравнению с облачными частицами. При этом удаление аэрозольных частиц в подоблачном слое происходит в основном благодаря инерционному захвату их снежинками и каплями.

Облако служит стоком для мелких аэрозольных частиц и источником крупных, в том числе облачных ядер конденсации и ледяных ядер. После образования капли на ядре конденсации в облаке происходит захват ею аэрозольных частиц в процессе диффузии. Замерзание капель дает начало образованию кристаллов, а их коагуляция приводит к образованию снежинок. Таким образом, первичным является образование капель, захват ими аэрозольных частиц, коагуляция и образование частиц осадков в виде дождя или снега.

Заключение

В результате проведенных исследований получены основные выводы:

1. Экспериментальным путем определен спектр размеров водонерастворимых аэрозольных частиц, вымытых свежевыпавшим снегом в сезонном снежном покрове в условиях высокогорья. Спектр размеров частиц подчиняется логарифмически нормальному распределению. По экспериментальным данным определены параметры этого распределения.

2. Установлена связь концентрации тяжелых металлов, вымытых снегом, с концентрацией водонерастворимых аэрозольных частиц по интервалам их размера. Коэффициенты детерминации больше 0,97.

Список литературы

1. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы / Х. Юнге. – М.: Мир, 1965. – 423 с.

2. Котляков В.М. Изотопная и геохимическая гляциология / В.М. Котляков, Ф.Г. Гордиенко. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1982. – 288 с.

3. Химия нижней атмосферы / Под ред. С. Расула. – М.: Мир, 1976. – 408 с.

4. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Изд. 2-е, стер. – М: Изд-во «Химия», 1972. – 428 с.

5. Пути дальнего переноса пыли на ледники Кавказа и химический состав снега на западном плато Эльбруса / Кутузов С.С. [и др.] // Лед и снег. – 2014. – № 3(127). – С. 5–15.

6. Кутузов С.С. Изменение концентрации микрочастиц и химического состава фирново-ледяной толщи Эльбруса за последние 75 лет по данным ледниковых кернов / С.С. Кутузов, В.Н. Михаленко // Изменения климата и природной среды северной Евразии: анализ, прогноз, адаптация: материалы междунар. школы-конференции молодых ученых. – М.: Изд-во ГЕОС, 2014. – С. 94–95.

7. Изотопный состав ледяных кернов, полученных на западном плато Эльбруса / А.В. Козачек [и др.] // Лед и снег. – 2015. – Т. 55, № 4.– С. 5–15.

8. Температурный и радиационный режим ледников на склонах Эльбруса в период абляции за последние 65 лет / П.А. Торопов [и др.] // Лед и снег. – 2016. – Т. 56, № 1. – С. 5–19.

9. Гляциологические исследования института географии РАН на Эльбрусе в 2017 г. / В.Н. Михаленко [и др.] // Лед и снег. – 2016. – Т. 57, № 3.– С. 292.

10. Лаврентьев И.И. Толщина льда и подлёдный рельеф западного ледникового плато Эльбруса / И.И. Лаврентьев, В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов // Лед и снег. – 2010. – № 2 (110). – С. 12–18.

11. Хайрединова А.Г. Сравнительный анализ коротких кернов Казбека и Эльбруса для получения информации об окружающей среде / А.Г. Хайрединова, С.С. Кутузов, П. Жино [и др.] // Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии: материалы конф. – X междунар. молодёжная школа-конференция. Институт географии РАН. – Курск: Изд-во 11-й ФОРМАТ, 2017. – С. 110–121.

12. Керимов А.М. Распределение тяжёлых металлов в поверхностных слоях снежно-фирновой толщи на южном склоне Эльбруса / А.М. Керимов, О.В. Рототаева, И.Ф. Хмелевской // Лед и снег. – 2011. – № 2(114). – С. 24–34.

13. Зависимость накопления тяжелых металлов от баланса массы ледников (на примере южного сектора оледенения Эльбруса / А.М. Керимов [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2012. – № 4. – С. 81–88.

14. Татаренко Н.В. Концентрации тяжелых металлов в снежно-фирновой толще на леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) / Н.В. Татаренко, А.А. Керимов, А.М. Керимов // Перспектива-2010: материалы междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученных. – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2010. – Т. 1. – С. 355–361.

References

1. Iunge Kh. Khimicheskii sostav i radiaktivnost' atmosfery [Chemical composition and radioactivity of the atmosphere]. Moscow, MIR, 1965, 423.

2. Kotliakov V.M., Gordienko F.G. Izotopnaia i geokhimicheskaia gliatsiologiia [Isotope and geochemical glaciology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982, 288.

3. Rasula S. Khimiia nizhnei atmosfery [Chemistry of the lower atmosphere]. Moscow, MIR, 1976, 408.

4. Grin Kh., Lein V. Aerozoli – pyli, dymy i tumany [Aerosols-dust, smoke and fog]. Izd. 2-e, ster.. Moscow, Khimiia, 1972, 428.

5. Kutuzov S.S. The way the long-range transport of dust to the glaciers of the Caucasus and the chemical composition of snow on the Western plateau of Elbrus [Puti dal'nego perenosa pyli na ledniki Kavkaza i khimicheskii sostav snega na zapadnom plato El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2014, no. 3, pp. 5–15.

6. Kutuzov S.S., Mikhalenko V.N. Izmenenie kontsentratsii mikrochastits i khimicheskogo sostava firnovo-ledianoi tolshchi El'brusa za poslednie 75 let po dannym lednikovykh kernov [Climate change and natural environment of Northern Eurasia: analysis, prediction, adaptation: proceedings of the international. school-conference of young scientists]. Izmeneniia klimata i prirodnoi sredy severnoi Evrazii: analiz, prognoz, adaptatsiia: materialy mezhdunar. shkoly-konferentsii molodykh uchenykh (g. Moskva, 14–20 sentiabria 2014 g.) [Proceedings of Climate and environmental changes in Northern Eurasia: analysis, forecast, adaptation (Moscow, September 14–20, 2014)], Moscow, GEOS, 2014, pp. 94–95.

7. Kozachek A.V. Isotope composition of ice cores obtained on the Western plateau of Elbrus [Izotopnyi sostav ledianykh kernov, poluchennykh na zapadnom plato El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2015, no. 4, pp. 5–15.

8. Toropov P.A. Radiation and temperature regime of the glaciers on the slopes of mount Elbrus in the ablation period over the past 65 years [Temperaturnyi i radiatsionnyi rezhim lednikov na sklonakh El'brusa v period abliatsii za poslednie 65 let]. Led i sneg – Ice and snow, 2016, no. 1, pp. 5–19.

9. Mikhalenko V.N. Glaciological studies of the Institute of geography of RAS on Elbrus in 2017 [Gliatsiologicheskie issledovaniia instituta geografii RAN na El'bruse v 2017 g.]. Led i sneg – Ice and snow, 2016, no. 3, pp. 292.

10. Lavrent'ev I.I. , Mikhalenko V.N. , Kutuzov S.S. Ice thickness and subglacial relief of the Western Elbrus glacial plateau [Tolshchina l'da i podlednyi rel'ef zapadnogo lednikovogo plato El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2010, no. 2, pp. 12–18.

11. Khairedinova A.G. , Kutuzov S.S. , Zhino P. Sravnitel'nyi analiz korotkikh kernov Kazbeka i El'brusa dlia polucheniia informatsii ob okruzhaiushchei srede [Comparative analysis of short cores of Kazbek and Elbrus to obtain information about the environment]. Sovremennye podkhody k izucheniiu ekologicheskikh problem v fizicheskoi i sotsial'no-ekonomicheskoi geografii: materialy konf. – X mezhdunar. molodezhnaia shkola-konferentsiia. Institut geografii RAN (g. Kursk, 24–28 maia 2017 g.) [Proceedings of Modern approaches to the study of environmental problems in the physical and socio-economic geography: materials Conf. – X international. youth school-conference. Institute of geography RAS (Kursk, May 24–28, 2017)], Kursk, 11-i FORMAT, 2017, pp. 110–121.

12. Kerimov A.M., Rototaeva O.V., Khmelevskoi I.F. Distribution of heavy metals in the surface layers of the snow-firn layer on the southern slope of Elbrus [Raspredelenie tiazhelykh metallov v poverkhnostnykh sloiakh snezhno-firnovoi tolshchi na iuzhnom sklone El'brusa]. Led i sneg – Ice and snow, 2011, no. 2, pp. 24–34.

13. Kerimov A.M. The dependence of the accumulation of heavy metals from the mass balance of glaciers (for example, the southern sector of glaciation of Elbrus [Zavisimost' nakopleniia tiazhelykh metallov ot balansa massy lednikov (na primere iuzhnogo sektora oledeneniia El'brusa]. Izvestiia Kabardino-Balkarskogo Nauchnogo Tsentra RAN – News of Kabardino-Balkar Scientific Center of RAS, 2012, no. 4, pp. 81–88.

14. Tatarenko N.V., Kerimov A.A., Kerimov A.M. Kontsentratsii tiazhelykh metallov v snezhno-firnovoi tolshche na lednike Garabashi (iuzhnyi sklon El'brusa) [The concentrations of heavy metals in snow-firn thicker on the Garabashi glacier (South slope of Elbrus)]. Perspektiva-2010: materialy mezhdunar. nauch. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (g. Nal'chik, 9–12 iiulia 2010 g.) [Proceedings of Perspective-2010: proceedings of the international. science. Conf. students, graduate students and young scientists (Nalchik, July 9–12, 2010)], Nalchik, Kabardino-Balkarskii gosudarstvennyi universitet, 2010, vol. 1, pp. 355–361.